

GPS 주파수간 편이 추정정확도 분석

김민우* · 김정래** · 허문범***

Estimation Accuracy Analysis of GPS Inter-Frequency Biases

Minwoo Kim* · Jeongrae Kim** · Moonbeom Heo***

ABSTRACT

The accuracy and integrity of global navigation satellite systems (GNSS) can be improved by using GNSS augmentation systems. Large ionospheric spatial gradient, during ionosphere storm, is a major threat for using GNSS augmentation systems by increasing the spatial decorrelation between a reference system and users. Ionosphere decorrelation behavior can be analyzed by using dual frequency GPS data. GNSS receivers have their own biases, called inter-frequency bias (IFB) between dual(P1 and P2) frequencies and they must be accurately estimated before computing ionosphere delays. GPS network data in Korea is used to compute each receiver's IFB, and their estimation accuracy and variability are analyzed. IFB estimation methodology to apply for ionosphere gradient analysis is discussed.

Key Words: Global Satellite Navigation System, Ionospheric Gradient, Inter-Frequency Bias

1. 초 록

위성항법 보강시스템은 GPS 등의 위성항법 신호에 보정정보를 추가하여 위치정확도와 신호 무결성을 증가시킬 수 있다. 전리층폭풍 발생시 기준국과 사용자 사이의 전리층에 의한 신호 지연값 차이가 급증하여 보정정보 정확도가 급격히 감소하는 것이 현재 주요한 문제이다. 이를 해결하기 위해서는 지역간 전리층 분포의 차이

를 나타내는 전리층 기울기에 대한 연구가 필요하다. 이중주파수 수신기의 P1 및 P2 코드 측정값을 이용하여 전리층 지연값을 계산할 수 있는데, 이의 지역적 분포를 분석하여 전리층 기울기를 계산하게 된다 [1]. P1 및 P2 내부 회로의 신호지연차이로 인해 수신기 고유의 편이(bias)가 존재하는데, 이를 IFB (Inter-Frequency Bias) 라고 하며, 정확한 전리층 지연값 계산을 위해서는 정확한 IFB 추정이 필수적이다. 본 연구에서는 국내에 설치된 GPS 상시관측소 데이터를 사용하여 수신기 별 IFB를 계산하였다. IFB 일일 변화율을 분석하여 추정정확도 및 안정성을 분석하였으며, 전리층 기울기 계산 시 적용 방법에 대해 논의하였다.

* 학생회원, 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부

** 정회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

*** 정회원, 한국항공우주연구원, 위성항법팀

연락처, E-mail: jkim@kau.ac.kr

2. 주파수간 편이(IFB) 계산방법

2.1 전리층 지연 관측방정식

이중주파수 수신기의 P1 및 P2 코드 측정값을 이용하여 전리층 지연값을 계산할 수 있다. 전리층 지연값의 분포를 나타낸 것을 전리층 지도라고 하는데, 본 연구에서는 전리층 지도를 생성하는 과정에서 IFB를 추정하는 기법을 사용하였다.

전리층에 의한 GPS 신호지연값을 TEC (Total Electron Content) 값으로 변환한 뒤 다음 합수를 사용하여 모델링 할 수 있다[2].

$$TEC_i(\phi, \lambda, t) = \sum_{l=0}^L \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^N a_{lmn} \phi^l \lambda^m t^n + \frac{B_{Rcv}^{Sat}}{F_i} + \epsilon_i \quad (1)$$

여기서, ϕ 및 λ 는 관측값의 IPP (Ionosphere Impact Point) 위도 및 경도인데, 전리층을 특정한 고도에 위치한 막으로 가정하였을 때, GPS 신호가 전리층 막과 교차하는 위성지점을 IPP라 한다. t 는 관측시간이며, F_i 는 수평지연값을 경사지연값으로 변환하는 경사함수이고, ϵ_i 는 수신기 잡음이다. L, M, N은 각각 위도차수, 경도차수 및 시간차수를 의미한다. B_{Rcv}^{Sat} 는 수신기와 GPS 위성 송신기 내부에서 L1과 L2 신호 경로 차이에 의해서 유발되는 신호 편이로 일반적인 이중주파수 결합으로 전리층 지연값을 상쇄시킬 때는 소멸되므로 고려할 필요가 없지만, 전리층 지연값을 추정할 때는 반드시 계산해 주어야 하는 값이다. 이 값은 관측방정식에는 수신기 편이와 송신기 편이의 합으로 포함된다.

$$B_{Rcv}^{Sat} = B^{Rcv} + B^{Sat} \quad (2)$$

이러한 편이는 각 수신기 및 위성의 고유 특성으로 각각에 대해 추정해 주어야 하지만, 관측방정식에는 두 개 편이의 합으로만 표현되므로 가관측성(observability) 문제가 발생한다. 그러므로 개별적인 값 대신 특정 수신기와 위성의 결합된 편이만 추정할 수 있다. 예를 들어, 14개의 수신기와 30개의 위성 신호가 있을 경우,

총 420개(=14×30)의 편이를 추정해주어야 한다.

2.2 수신기 별 IFB 추정 방법

본 연구에 적용한 추정기법으로는 위성송신기와 수신기 IFB의 합만 추정할 수 있으므로 개별 IFB를 추정하기 위해서는 별도의 작업이 필요하다. GPS 위성의 IFB는 발사 전 보정 작업을 거치고 GPS 송신기 회로 및 온도 안정성이 높으므로, 일반적으로 위성 IFB가 수신기 IFB에 비해 작은 값을 가진다. 다음과 같이 위성 IFB의 합이 0이라는 가정을 하여 특정 위성-수신기 IFB의 평균을 구하여 수신기 IFB를 추정할 수 있다.

$$b_{Rcv,i} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m B_{Rcv,i}^{Sat,j} \quad (3)$$

이 추정값을 해당되는 위성-수신기 IFB에서 빼준 뒤 평균을 구하면 특정 위성의 IFB를 추정할 수 있다.

$$b^{Sat,j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (B_{Rcv,i}^{Sat,j} - b_{Rcv,i}) \quad (4)$$

이 방법의 단점은 수신기 개수가 많을 경우 수신기 IFB의 평균이 0에 근접할 수 있으므로 통계적으로 유효한 방법이지만 수신기 개수가 제한적일 경우 수신기 IFB의 평균이 큰 편이를 가지게 되어 개별 수신기 IFB값이 영향을 받을 수 있는 방법이다. 200개 이상의 수신기를 가진 IGS (International GNSS Service) 네트워크 데이터를 사용하는 경우 유효한 방법이지만, 십수개 이내의 수신기를 사용하는 경우 특정 수신기의 오동작 등에 의해 IFB 추정값이 크게 영향을 받는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점에 따른 영향을 분석하는데 주안점을 두어 데이터 분석을 수행하였다.

2.3 GPS 위성 IFB 외부 추정값 사용

IGS에서는 전세계에 분포된 수 백개의 IGS 수신기 데이터를 사용하여 매일 GPS 위성과 수신기의 IFB를 추정한 뒤 인터넷으로 제공하고 있

다. 앞에서 언급한 바와 같이 IGS는 많은 수의 수신기 데이터를 이용하므로 위성 IFB 추정에 있어 통계학적으로 높은 정확도를 나타낸다. 그러므로, 위성 IFB를 수신기 IFB와 동시에 계산하는 대신 IGS 추정값을 사용하는 것을 고려할 수 있다. 이 경우 수신기 IFB 추정값의 가관측성이 변화하므로 수신기 IFB만 단독으로 계산할 수 있고, 식 (3),(4)의 평균화 과정도 필요 없다.

GPS의 항법메시지에서도 IFB 값을 제공하는데, TGD (Group Delay)라는 정보이다. 1일 간격으로 제공하는 IGS와 달리 준 실시간으로 정보를 받을 수 있어, 급격한 위성 IFB 변화 등을 반영할 수 있는 장점이 있다. 단, TGD는 제한된 GPS 지상국 데이터만을 이용하여 실시간으로 계산하기 때문에 정확도 면에서는 수 백개의 수신기 데이터를 후처리 방식으로 처리하는 IGS 추정값에 비해 떨어진다고 할 수 있다.

3. 데이터 분석결과

IFB 계산 시 사용하는 전리층 지연값 분포모형을 변화시켜가면서 IFB 추정값 변화를 관찰하였으며, IGS 및 TGD 등 외부 IFB값을 적용하였을 때 IFB 변화를 관찰하였다.

3.1 전리층 지연값 분포 모델

국토지리원의 14개 GPS 상시관측소 데이터를 사용하여 IFB 추정정확도를 분석하였다. 30초 간격의 RINEX 형식의 데이터이며 Trimble 4000SI 및 NetRS 데이터를 제공한다. 전리층 지연값 분포모델의 차수를 변화시켜가면서 추정값 변화를 관찰하였다. 식 (1)의 L, M, N을 변화시켜가면서 IFB 추정값 변화를 살펴보았다. Fig.1은 시간항(time=N)을 포함하였을 때와 포함시켰을 때 IFB의 2003년 연간 변화를 나타낸 것인데, IGS 수신국인 수원(SUWN) 데이터를 비교하였다. 시간항을 포함시키지 않았을 때에도 큰 변화는 없었으며, IGS 추정값과는 10 TECU 정도

의 차이를 나타내었다. 반송파 평활화(smoothing) 적용에 대한 영향도 살펴보았으나 큰 차이는 없었다.

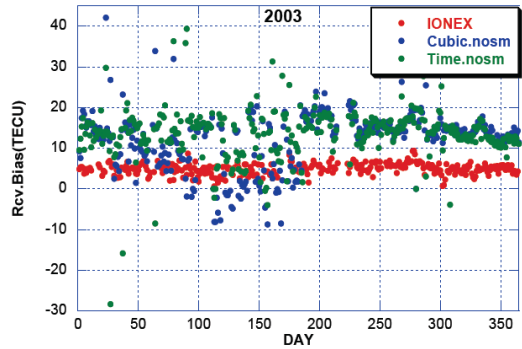


Fig. 1 Receiver IFB variation with ionospheric map model

3.2 위성 IFB 데이터 사용 방법

위성 IFB를 수신기 IFB와 같이 추정한 경우, 0으로 가정하여 추정하지 않은 경우, 수신기 IFB와 같이 추정한 IFB를 상수로 하여 고정시킨 경우 및 IGS 추정값을 사용한 경우로 나누어 수신기 IFB값을 비교해 보았다.

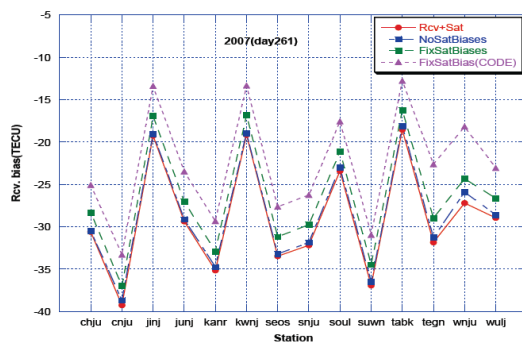


Fig. 2 Receiver IFB variation with different satellite IFB data

Fig.2는 14개 수신국의 IFB 차이를 나타내고 있는데, 위성 IFB 처리방법에 따라 일정한 변화율을 보이고 있음을 알 수 있다. 처리방법에 따른 차이는 5 TECU에서 10 TECU까지 변하고 있다.

IGS의 위성 IFB와 항법메시지의 TGD와의 관계를 파악하기 위하여 위성 별로 두 값 들을 비교 하였다.

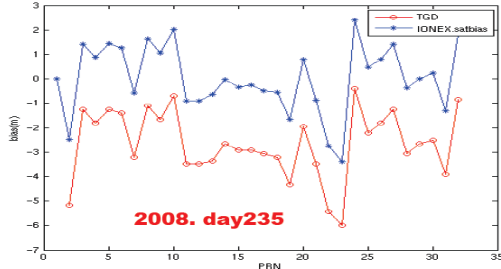


Fig. 3 IGS 위성IFB와 항법메시지 TGD 비교(2008년)

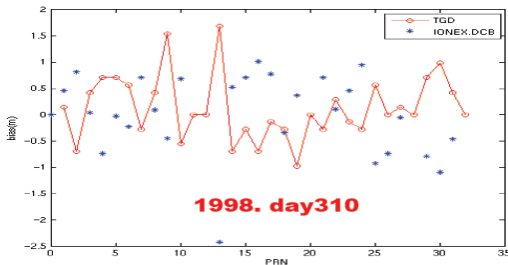


Fig. 4 IGS 위성IFB와 항법메시지 TGD 비교(1998년)

Fig.3과 같이 2008년에는 일정한 편이를 가지고 두 값이 일치하는 것을 알 수 있다. IGS값의 경우 평균이 0이 되도록 하였기 때문에 편차가 존재한다. 이에 비해 Fig.4의 1998년 비교는 두 값이 전혀 다른 경향을 보여주고 있다. 2000년대 이후로 TGD/IGS 계산 방법에 변화가 있었던 것으로 파악된다.

3.3 수신기 IFB 일일 변화율

수신기 IFB 변화는 전리층 기울기 계산에 큰 영향을 미치는데, 추정된 수신기 IFB의 일일 변화율을 살펴보았다. Fig. 5는 2004년 10월 간 IFB 변화율을 14개 수신기에 대해 나타낸 것이다. 표준편차는 2.1 TECU 정도인데, 10일 치 평균을 제거하고 다시 계산한 결과 0.6 TECU로 감소하였다. 온도변화가 크지 않을 경우 IFB는 크게 변하지 않는다는 것을 감안할 때 이를 IFB 추정정밀도로 생각할 수도 있다.

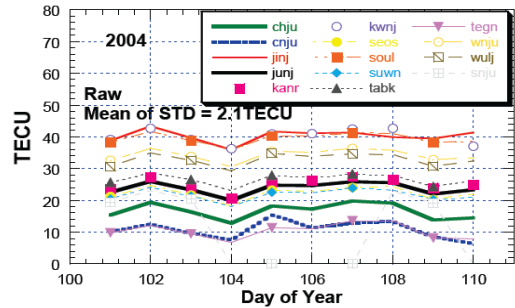


Fig. 5 일일 수신기 IFB 변화율

IV. 결론

정확한 전리층 지연값 계산을 위해서 필요한 GPS 주파수간 편이 (IFB) 추정기법에 관한 연구를 수행하였다. 국내에 설치된 GPS 상시관측소 데이터를 사용하여 수신기 별 IFB를 계산하였다. 전리층 지연값 분포 모델을 변화시켜가며 IFB 변화율을 살펴보았는데, 모델에 따른 IFB 변화는 크지 않은 것으로 판단되었다. 위성 IFB 데이터 처리방법을 변화시켜가며 수신기 IFB 변화를 살펴보았는데, 5 TECU 이상의 차이를 나타내어 가장 정확한 값을 제공하는 IGS의 IFB값을 사용하는 것이 적합할 것으로 판단된다. IFB의 일일 변화율을 분석하여 추정정밀도를 파악하였는데, 0.6 TECU정도의 값을 나타내었다.

후기

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원(06교통핵심A03)에 의해 수행되었습니다. GPS 상시관측소 데이터를 제공한 국토지리정보원에 감사드립니다.

참고문헌

[1] 김정래*, 양태형, 이은성, 전향식, “위성 항법시스템 적용을 위한 전리층 지연값 기울기 연구”, 제어·자동화·시스템공학 논문지, 12권, 9호, 2006.09, pp.898-904
 [2] 한재호, GPS 정밀도 향상을 위한 전리층 지연 효과에 관한 연구, 석사논문, 인하대학교, 2004